

# Simulador de vehículos eléctricos en MATLAB

David Cerero-Tejero  
ETSI Universidad de Sevilla, cererotejero@gmail.com

E. F. Camacho  
ETSI Universidad de Sevilla, efcamacho@us.es

## Resumen

*Este artículo describe las características y posibilidades de uso de un simulador microscópico de vehículos eléctricos sobre un entorno real en el que interaccionan con el resto de vehículos y con las electrolineras. El simulador está desarrollado íntegramente en MATLAB y destaca por la flexibilidad en la configuración de todos los parámetros que gobiernan el comportamiento de vehículos, conductores y estaciones de recarga. Otro aspecto a tener en cuenta es que por defecto simula en base a información extraída de un caso práctico de una flota de vehículos eléctricos.*

**Palabras Clave:** simulación, vehículos eléctricos, electrolineras.

## 1 INTRODUCCIÓN

El panorama actual de aumento progresivo del precio de los combustibles de origen fósil y de preocupación por los problemas medioambientales, hacen que el vehículo convencional de motor de combustión pierda interés en favor del vehículo eléctrico o los híbridos. Teniendo en cuenta que alrededor del 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero son a causa del transporte [1], convierten a este sector en un punto de mira en la lucha contra la contaminación ambiental.

Además del beneficio medioambiental que representa por utilizar energías más limpias y eficientes, el vehículo eléctrico ha ido haciéndose con una cierta cuota de mercado al ser más atractivo, a largo plazo, desde el punto de vista económico: el precio del combustible, del coste de mantenimiento y por la disminución del coste de desarrollo de las baterías: 1000\$/kWh en 2008 a 485\$/kWh en 2013 [4]. Por tener un orden de magnitud en lo que respecta al consumo de combustible, para una misma distancia recorrida, el coste de la gasolina usada es más de 5 veces superior al de la electricidad (este cálculo es muy dependiente del tramo horario donde se compre la energía eléctrica). En los escenarios de previsiones

más optimistas sobre la presencia de vehículos eléctricos, se estima una capacidad total de almacenamiento de 3125 GWh en EEUU para el 2030 [7].

El hecho de que el coche eléctrico tengan batería y teniendo en cuenta que se prevé un aumento del número de vehículos de este tipo en un escenario futuro, hace interesante estudiar cómo pueden servir como método para almacenar y desplazar energía a gran escala. Una de las aplicaciones más destacadas es el V2G (Vehicle to Grid) [11] en el que el vehículo puede ceder energía con finalidades variadas como son la alimentación a un edificio o a una zona aislada de la red por alguna irregularidad [3], la regulación de estabilidad en micro-grids y hacer más plana la curva de demanda, cargando en horas valles con precios de la energía baratos y descargando en horas pico con precios elevados, entre otras.

La determinación de la curva de carga-descarga óptima, llamadas a vehículos para aumentar la capacidad o redistribución de vehículos entre diferentes estaciones, son algunos de los problemas que surgen con este planteamiento. A esto debemos añadir las restricciones que imponen los propios clientes que no quieren tener la batería vacía cuando necesiten el vehículo ni que se le hagan excesivos ciclos de recarga a su batería, lo que acortaría su vida útil.

El planteamiento de soluciones a estos problemas mediante estrategias de control, políticas de precios, incentivos para acudir a llamadas V2G etc. pasa por tener una herramienta de simulación con la que se puedan generar datos y que sirva para comparar diferentes algoritmos de control en el caso que no pueda aplicarse o no se disponga de una implantación real. También puede resultar de utilidad a la hora de ajustar un modelo macroscópico sobre el que poder aplicar técnicas de control más complejas que sobre un modelo microscópico serían inviables. La necesidad y gran utilidad que pueda dar esta herramienta es la motivación para desarrollar el simulador sobre el que versa este texto.

En el simulador desarrollado se puede modelar las estaciones de recarga y el desplazamiento por un mapa real de vehículos eléctricos (EV) y no eléctricos (NEV), donde este último grupo lo componen aquellos que son de combustión o cualquier otra tecnología que no intervengan en el proceso de carga en electrolineras, pero sí colaboran en aumentar la densidad de tráfico. En el caso de los EV, también se modela el comportamiento de sus baterías así como la interacción con las electrolineras de su entorno. Para hacer corresponder el simulador con un escenario realista, se han tomado datos de un caso de estudio de una flota de vehículos eléctricos y postes de recarga que podemos encontrar en la ciudad de Málaga y alrededores, enmarcado en el proyecto Zem2All (Zero Emissions to All) en el que colaboran empresas como AYESA, Endesa y Mitsubishi entre otras. Además, el simulador realizado se enmarca dentro de la línea de investigación del proyecto europeo DYMASOS (Dynamic Management of Physically Coupled Systems of Systems).

## 2 CARACTERÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN

Se pretende que el simulador microscópico de vehículos eléctricos sea lo más flexible y configurable posible para poder adaptarse a los diferentes tipos de comportamiento de los conductores así como a diferentes escenarios de simulación donde se varía el mapa o la localización y características de las electrolineras. Esta es una de las razones principales por la cual se ha elegido a MATLAB como plataforma de desarrollo en lugar de usar algún simulador microscópico como SUMO [2] o MATSIM [8], además de que es ampliamente conocida por la comunidad universitaria y en el ámbito de la investigación y nos permite tener un control completo de lo que ocurre en simulación.

La simulación se caracteriza por realizarse en tiempo discreto (en minutos) de paso fijo configurable. En ella intervienen dos elementos fundamentales, los vehículos y las estaciones de recarga, ambos implementados mediante objetos. La interacción entre ambos se realiza mediante reservas de forma que el vehículo lleva a cabo una petición de una determinada energía en un cierto período a una estación en concreto. La estación acepta o rechaza dicha petición en función de sus limitaciones y otros criterios adicionales. En caso de aceptar la reserva, la estación modifica previsión de demanda para dar cabida al nuevo vehículo, pudiendo entrar en juego en esta parte algoritmos de optimización para determinar la oferta o de previsión para anticiparse a las modificaciones en la demanda. Todos los parámetros del vehículo tales como capacidad de

batería, consumo, tipo de movimiento, política de recarga, ruta, agresividad en la conducción, etc. son sencillamente manipulables, así como los de las estaciones de recarga: potencia máxima, número de postes, tamaño de cola máxima, política de precios, capacidad de batería propia, etc.

En cada instante de simulación y para cada vehículo se sigue con una secuencia de operaciones básicas que se describen de manera sucinta en la Figura 1.

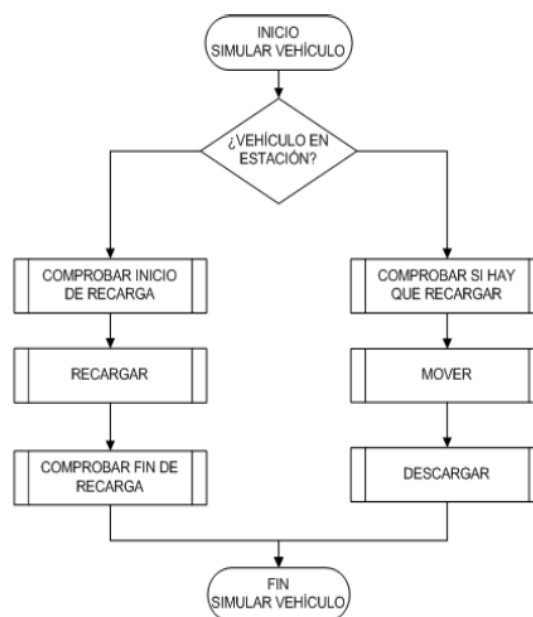


Figura 1: Secuencia de simulación de un vehículo.

La mayoría de las fases descritas son simples comprobaciones como por ejemplo a la hora de determinar si hay que recargar o no o simples actualizaciones de propiedades del vehículo como en el caso de la descarga, donde la batería se decrementa mediante el consumo, estimado mediante datos reales en función de la velocidad.

## 3 GRAFO DEL MAPA

Uno de los aspectos fundamentales y que otorgan versatilidad al simulador es la capacidad del mismo para poder simular sobre el mapa de una ciudad o región cualquiera existente, así como sobre un mapa imaginario. La información geográfica podemos obtenerla a partir de bases de datos libres como las de OpenStreetMap [10], en cuyo caso, vendrá dada en un archivo XML.

En el contenido de dicho archivo se encuentran la información relativa a una zona seleccionada organizada en forma de caminos con etiquetas del tipo de vía y/u otras propiedades. Entre los caminos distinguimos lo que en un principio podemos

identificar como tal: carreteras, avenidas, calles, carril bici, pero también se expresan haciendo uso de este elemento el contorno de los edificios, lindes del curso de un río o incluso elementos no tangibles como las fronteras de una población o provincia. Por ello, antes de generar el grafo, la información del mapa deberá procesarse, previa lectura del XML [5].

El primer paso es la eliminación de todos los caminos que no sean vías de tránsito, lo que traducido al lenguaje del mapa se traduce en quedarse solo con los caminos con etiqueta {highway}. De todos los caminos que han pasado la primera criba desechamos aquellos por los que no pueda circular coches como por ejemplo el carril bici o que no sean de tránsito público como por ejemplo un circuito de carreras. Esto se traduce en la eliminación de aquellos caminos que posean alguna de las etiquetas: {cycleway, footway, pedestrian, path, bridleway, step, steps, stairs, proposed, raceway, construction}. Con los caminos que pasan el segundo filtrado se construye la matriz de adyacencia asociada al grafo del mapa considerando que todo camino es de doble sentido a menos que se especifique lo contrario con una etiqueta a tal efecto. Realizando este proceso, para la ciudad de Málaga (Figura 2), se consigue una reducción de 97873 nodos a 39455 nodos.

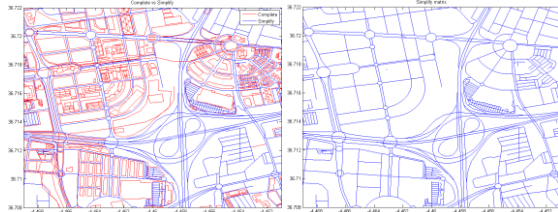


Figura 2: Filtrado de caminos por etiquetas.

A la matriz de adyacencia resultante se le practican una serie de simplificaciones y modificaciones que de otra manera podía dar a errores en la simulación como por ejemplo la presencia de un nodo que tuviese entrada pero no salida.

**Simplificación I, nodos mínimos:** entendiendo como camino parcial aquella sucesión de nodos en el que cada nodo solamente está conectado al anterior y al siguiente, pudiendo estar el primero y el último conectados a varios, simplificamos el camino parcial a una línea recta entre su primer y último nodo con el mismo coste en distancia que el camino parcial original (Figura 3). Se pasa de 39455 nodos a 11256 nodos.

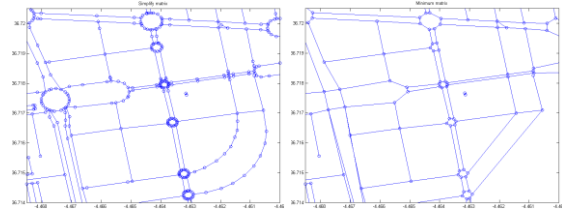


Figura 3: Eliminación de nodos intermedios.

**Simplificación II, nodos fuente/sumidero:** en la frontera del mapa pueden presentarse nodos fuente (sin entradas) o sumideros (sin salida) entre otras razones por tratarse de caminos cortados al extraer el mapa de trabajo de una red de mapas mucho mayor. También existen este tipo de nodos en las zonas interiores del mapa, causa que se atribuye a la mala definición de los caminos por parte de los contribuyentes a la base de datos. Para que en simulación no haya errores al encontrarse un vehículo en este tipo de nodos, se crean caminos nuevos que eliminen el carácter fuente o sumidero de todos los nodos. Debido a que los nuevos caminos (i,j) no existen en el mapa real, su coste se ve penalizado por un coeficiente  $p_{ij}$ .

**Simplificación III, zonas totalmente aisladas:** si existen zonas totalmente aisladas de un tamaño muy inferior al del área principal, son eliminadas. En el caso de que sean de un tamaño similar, se unen con un camino nuevo con coste penalizado del mismo modo que en el apartado anterior.

**Simplificación IV, zonas fuente/sumidero:** aunque se ha eliminado los nodos fuente y sumidero puede darse el caso que existan áreas que una vez dentro se pueda salir o que no sean accesibles desde el resto del mapa, en otras palabras, el grafo no es fuertemente conexo [12]. Para solventar este problema se duplica el sentido del único arco que permite el acceso o salida de cada zona parcialmente aislada, resultando un grafo en el que es posible trazar una ruta entre dos nodos cualesquiera.

Tras todo el procedimiento descrito obtenemos una matriz de adyacencia (A) compuesta por ceros y unos, a partir de la cual se calcula una nueva matriz de adyacencia (A') que incorpore los costes de desplazarse de un nodo a otro, para ello se le asigna a cada elemento la distancia geográfica [6, 9] entre los dos nodos a los que se refiere aplicando siempre las penalizaciones ( $p_{ij}$ ) que se deriven del tratamiento anterior.

$$a'_{ij} = 2 \cdot p_{ij} \cdot a_{ij} \cdot R_m \cdot a \sin(\sqrt{b_{ij} + c_{ij}}) \quad (1)$$

$$b_{ij} = \sin\left(\frac{Lat_j - Lat_i}{2}\right) \quad (2)$$

$$c_{ij} = \cos(Lat_i) \cdot \cos(Lat_j) \cdot \sin^2\left(\frac{Lon_j - Lon_i}{2}\right) \quad (3)$$

## 4 MOVIMIENTO

### 4.1 MOVIMIENTO BÁSICO

La implementación del movimiento del vehículo es independiente de cualquier otro aspecto, ya que siempre es un desplazamiento desde un nodo inicial a uno final. Otra cuestión es con qué criterio es elegido el nodo de destino. Cuando un vehículo debe realizar su fase de movimiento usa todo o parte del tiempo del paso de simulación para avanzar hacia el nodo final. Si lo alcanza, se elige un nuevo nodo final y se sigue avanzando durante el tiempo restante.

### 4.2 SELECCIÓN DEL NODO DE DESTINO

La selección del nodo de destino depende fundamentalmente de dos factores, en primer lugar del tipo de movimiento que el vehículo siga, ya sea una ruta predefinida, movimiento aleatorio, etc., y en segundo lugar del hecho de que el vehículo tenga la necesidad de recargar o no, lo que determinará seguir el camino normal o dirigirse a una estación de recarga.

En el caso de que el vehículo deba dirigirse a una estación de recarga, esto se detectará la sección 5 y se generará un vector con la ruta, la sucesión de nodos, que debe seguir el vehículo desde la posición del mismo en el momento que se determine tal necesidad hasta la posición de la estación donde vaya a realizarse la recarga. La selección del nodo de destino se simplifica a elegir en cada instante de simulación el siguiente elemento del vector con la ruta a la estación. Como puede comprobarse en este caso no influye el tipo de movimiento de forma directa, pero sí de forma indirecta, ya que el criterio de movimiento está íntimamente relacionado con el criterio que determina en qué estación y cuándo recargar.

En el otro caso, en el que no haya que realizar una recarga, el nodo que obtendrá el título de nodo destino o nodo final vendrá dado solo y exclusivamente por el tipo de movimiento.

### 4.3 TIPO DE MOVIMIENTO

Entre la multitud de posibilidades de movimientos que existen se han programado los que se consideran de mayor interés, pudiendo agregarse el resto de forma bastante modular. Los que se han empleado son los siguientes:

1. Movimiento aleatorio: éste consiste en seleccionar como nuevo nodo destino uno entre el conjunto sucesor del nodo destino actual de forma aleatoria. Entendemos como conjunto sucesor de un nodo todos aquellos nodos que son directamente accesibles desde él.

2. Movimiento por ruta simple: es un movimiento en que existe previamente un vector que indica la sucesión de nodos que el vehículo debe seguir. Además se permite esperas en los nodos de forma que simulen el tiempo que tarda el conductor en realizar actividades en las que el vehículo está parado, por ejemplo dormir, trabajar, etc.

3. Movimiento entre dos nodos: queda absorbido por el movimiento por ruta compleja, mucho más genérico.

4. Movimiento por ruta compleja: es análogo al 2 en tanto que el vehículo realiza un movimiento predefinido por una ruta almacenada en un vector. El tiempo de espera en el nodo es sustituido por el instante temporal (o de simulación) en que se parte del nodo, a fin de hacer más simple la programación de tareas. Se incluye además entidad propia a los nodos, es decir, se les otorga un identificador que determina de qué tipo son. Así por ejemplo el nodo marcado con 'R' indica que se trata de un lugar donde podemos recargar bajo reserva, 'H' indica que es nuestra casa (home) y por lo tanto podemos realizar una recarga sin necesidad de reservar que será de una potencia baja y por lo tanto de una duración elevada. Una marca de 'N' indica que es un nodo normal de paso y que no se permite la recarga en él, aunque si la espera. Del mismo modo que los ya definidos, el conjunto de marcas puede ampliarse y programarse el comportamiento que implican.

## 5 RECARGA

### 5.1 POLÍTICAS DE RECARGA

Existe una serie de política de recargas programadas, las que se han considerado de mayor interés, pudiéndose añadir más si se requieren. Estas políticas no se refieren a dónde recargar, sino más bien a cuándo. Tampoco se refieren a qué instante el vehículo estará en la estación aumentando su batería, sino al instante en el que el conductor decide que es conveniente ir a la estación. Las diferentes políticas programadas son:

1. Recarga por nivel: el conductor considera que es necesario avanzar hacia una estación de recarga cuando la batería está por debajo de un nivel configurable más un cierto valor aleatorio.

2. Recarga por nivel con reserva previa: cuando el nivel de batería es inferior a un valor preestablecido, se predice por los nodos que se desplazará el vehículo durante un horizonte temporal. Se selecciona la estación más cercana al conjunto de nodos predichos y se considerará que se debe ir a repostar cuando el vehículo esté en el nodo más cercano a la estación de recarga.

3. Recarga en un nodo concreto de la ruta: queda absorbido por la recarga en nodos con marca, mucho más genérica.

4. Recarga en nodos con marca: se considera que se debe ir a recargar cuando llegamos a un nodo marcado con un identificador que lo indique. Esta política está íntimamente vinculada al tipo de movimiento por ruta compleja, no teniendo sentido aplicarla al resto. La recarga se realiza sobre nodos de la ruta, por lo que es necesaria la presencia de estaciones en los mismos. Puede establecerse una reserva previa, ya que se conoce en qué momento aproximado se decidirá realizar la recarga.

Como se ha visto en el párrafo anterior, no todas las combinaciones de políticas de recarga y tipos de movimientos son posibles, así no resulta lógico una política de recarga por reserva para un tipo de movimiento aleatorio, ya que no sabemos a priori dónde va a estar el vehículo. Las posibilidades se resumen en la Figura 4.

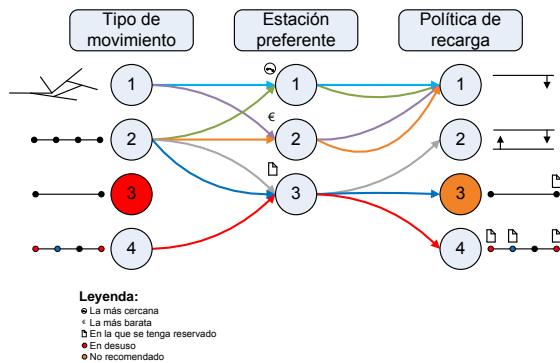


Figura 4: Comportamientos posibles.

## 5.2 ELECCIÓN DE ESTACIÓN

Si existe una reserva previa la decisión es directa, nos dirigimos hacia la estación donde tengamos la reserva establecida. En el caso de que no exista reserva, podemos dirigirnos a la más cercana o a la más barata. Para el cálculo de la estación más barata se tiene en cuenta la energía hasta la que se quiere recargar ( $E_r$ ), el nivel de batería inicial ( $E_b$ ), la energía y el tiempo que se consume en ir a la estación suponiendo que se desplace a una velocidad media  $v$

con una potencia consumida  $P_c$ , el precio de la energía ( $p_e$ ) y el valor ( $p_t$ ) que le da el conductor a su tiempo. Así elegiremos una ruta ( $R_k$ ) hasta la estación  $k$  según la ecuación (4).

$$\arg \min_k \left( p_e (E_f - E_b) + (p_t + p_e P_c \left( \frac{1}{v} \right)) \sum_{\forall (i,j) \in R_k} \frac{a'_{ij}}{v} \right) \quad (4)$$

En la implementación, cualquier recarga que no tenga vinculada una reserva será tratada como una que sí la tenga en el instante en que el vehículo llegue a la estación de destino, es decir, cuando un vehículo llega a una estación con la intención de recargar y no posea una reserva previa, se crea una. Esto permite que desde el punto de vista de las estaciones de recarga no exista distinción entre las diferentes políticas de carga, desacoplando en este aspecto el problema

## 5.3 PROCESO DE RECARGA

Se considera que el proceso de recarga comienza cuando el vehículo llega a la estación en donde la llevará a cabo. En cada instante de simulación  $i$  el punto de conexión oferta una determinada potencia que es absorbida por el vehículo de forma que en cada instante el vehículo recarga una cantidad de energía ( $E_i$ ) igual a la potencia del enchufe ( $P_e$ ) por el paso de simulación ( $t_s$ ).

$$E_i = P_e \cdot t_s \quad (5)$$

## 5.4 ESTACIONES DE CARGA

Las estaciones de recargas son unas entidades que disponen de una capacidad limitada para tratar con los vehículos. Estas limitaciones vienen dadas tanto en el número de ellos que puede albergar en un mismo instante, un número igual a la cantidad de enchufes que disponga, así como en forma de limitaciones de potencia.

Las estaciones de recarga son en última instancia quien determina si una reserva solicitada por un vehículo se puede realizar de forma satisfactoria o no, acorde a las limitaciones. Existe por defecto la posibilidad de ofertar siempre la potencia máxima a un solo vehículo, repartida entre todos los conectados o incluso usar solamente una parte de la potencia total instalada, así mismo se permite la modificación de este criterio para dar cabida a posibles estrategias que determinen la forma óptima de distribuir la energía entre los diferentes vehículos y durante el tiempo que dure la recarga.

## 6 MUESTRA DE RESULTADOS Y ENTORNO GRÁFICO

### 6.1 REPRESENTACIONES ONLINE

El simulador dispone también de un entorno gráfico que permite la visualización de los vehículos desplazándose sobre el grafo que modela el mapa de la región deseada, los niveles de batería de cada vehículo y el vector de oferta de cada estación en línea durante la simulación. En entorno gráfico es altamente recomendable para simulaciones pequeñas o aquellas en las que se quiera detectar algún comportamiento inadecuado, debiéndose omitir este módulo para simulaciones mayores por razones de coste computacional



Figura 5: Representación del mapa en línea.

En la representación del mapa (Figura 5), además de los vehículos, también pueden visualizarse la localización de las electrolineras, los números identificadores de cada nodo y el estado del vehículo dado por la forma y color del icono que los representa. El mismo código de colores se muestran sobre el diagrama de barras que indica el nivel de batería en porcentaje (Figura 6) donde verde indica que no existe necesidad de cargar, negro que sí existe y roja que el vehículo se encuentra en una estación realizando una recarga.

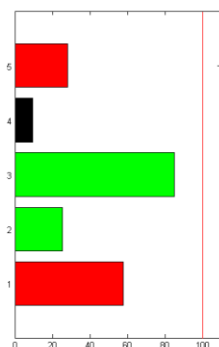


Figura 6: Representación de batería en línea.

Al margen de las representaciones durante la simulación, una vez que esta finaliza, se puede acceder al histórico de las variables más representativas como por ejemplo posición y batería del vehículo o potencia ofertada en cada instante de cada estación entre otras. Esta información puede utilizarse para su mera representación o para algún análisis posterior que compare los resultados de diferentes políticas de precios, criterios de carga, etc. Así en la Figura 7 se muestra los niveles de batería de todos los vehículos durante la simulación completa, donde se observan que solo cuatro de ellos recargan su batería, no necesariamente los de menor nivel de batería.

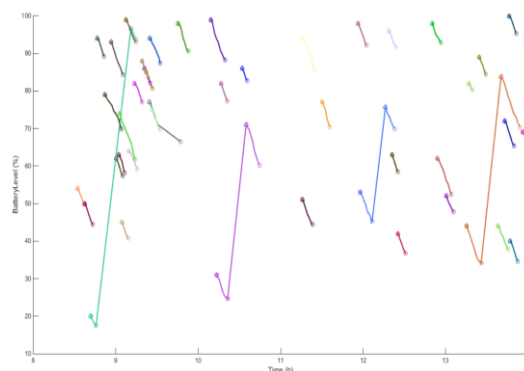


Figura 7: Nivel de batería

## 7 AJUSTE A PARTIR DE DATOS REALES

Como se ha comentado a lo largo del artículo, se han usado datos reales para ajustar los parámetros y propiedades de los agentes que intervienen en la simulación. Del conjunto de datos de que se disponía se ha obtenido información sobre: el consumo de energía en función de la velocidad, la velocidad media de circulación, la proximidad aproximada de la velocidad a los límites de circulación, los perfiles de batería al inicio y final de las recarga, los perfiles de batería según diferentes tramos horarios dentro del día, número de recargas en postes (rápida) respecto a las cargas en casa (lenta), duración de las recargas, distribución de las longitudes de las rutas recorridas, curvas de carga para diferentes potencias y otros aspectos de menor importancia.

### Agradecimientos

Cabe agradecer a la Comisión Europea por financiar el desarrollo del simulador e investigaciones relacionadas a través del proyecto DYMASOS y a AYESA por facilitar los datos de histórico de una flota de vehículos utilizados para el ajuste del simulador.

## Referencias

- [1] A. Stevens and L. Draucker. "2011 Greenhouse Gas Inventory and Sustainability Report". In World Resources Institute publication, 2011.
- [2] DLR – Institute of transport Systems. Simulation of Urban Mobility (SUMO) [online]. Available in [http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931\\_read-41000/](http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/), accessed 20 June 2015.
- [3] I. Grau, S. Skarvelis-Kazakos, P. Papadopoulos, L. M. Cipcigan and N. Jenkins. "Electric vehicles support for intentional islanding: A prediction for 2030", Proc.North Amer. Power Symp. (NAPS), 2009.
- [4] IEA (International Energy Agency). "Global EV outlooks. Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020", 2013.
- [5] Ioannis Filippidis. OpenStreetMap Functions Load map, extract connectivity, plot road network & find shortest paths from OpenStreetMap XML file [online], Available in <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35819-openstreetmap-functions>, accessed 20 June 2015.
- [6] Ivis, Frank. "Calculating geographic distance: concepts and methods". In NESUG Conference, Data manipulation, pages 5-6, 2006.
- [7] Kampman, Cor Leguijt, Dorien Bennink, Lonneke Wielders, Xander Rijkee, Ab de Buck, Willem Braat. "Green Power for Electric Cars - Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles". Pages 40-41. January 2010.
- [8] MATSim – Multi-Agent based simulation [online]. Available in <http://www.matsim.org/>, accessed 20 June 2015.
- [9] Ministry of Defense. "Admiralty Manual of Navigation, Volumen 1, General navigation, coastal navigation and pilotage". Published by The Stationery Office, pages 9-10, 2006
- [10] OpenStreetMap contributors. Open Street Map (OSM) database, and export tools [online]. Available in [www.openstreetmap.com](http://www.openstreetmap.com), accessed 20 June 2015.
- [11] S. S. Hosseini, A. Badri and M. Parvania. "The Plug-in Electric Vehicles for Power System Applications: The Vehicle to Grid (V2G) Concept". In Proc. 2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition, pages 1101-1106, 2012.
- [12] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein. Introduction to Algorithms, third edition. Pages 589-615, 2009.